

团体标准

T/GDASE 0010—2020

石墨烯薄膜电子迁移率的测定

Determination of electronic mobility of graphene film

2020 - 06 - 01 发布

2020 - 06 - 01 实施

广东省特种设备行业协会 发布

目 次

前言.....	II
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 原理.....	2
5 试验设备与仪器.....	3
6 实验步骤.....	3
7 试验结果.....	4
8 精密度.....	4
9 试验报告.....	4

前 言

本标准按照GB/T 1.1—2009给出的规则起草。

本标准由广州特种承压设备检测研究院提出，由广东省特种设备行业协会归口。

本标准起草单位：广州特种承压设备检测研究院、广州奥翼电子科技股份有限公司、中山大学、广州新地科技有限公司、广东猎奇科技股份有限公司。

本标准主要起草人：王伟雄、刘斌、王喜杜、尹宗杰、李光琴、吉英爱、楚彪、熊磊、何立粮、黎佩珊、黄国家、张永红、徐岩岩、王禹舟。

本标准为首次发布。

石墨烯薄膜电子迁移率的测定

1 范围

本标准规定了石墨烯薄膜霍尔系数、电子浓度、电子迁移率、电阻率的测定方法。

本标准适用于二维石墨烯薄膜样品，其它二维导电薄膜的霍尔系数、电子浓度、电子迁移率、电阻率测定可参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 30544.13-2018 纳米科技 术语 第13部分：石墨烯及相关二维材料

GB/T 8170-2008 数值修约规则与极限数值的表示和判定

3 术语和定义

GB/T 30544.13-2018 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

电阻率 resistivity

材料内平行于电流方向的电势梯度与电流密度之比，又称体电阻率，单位为($\Omega\cdot\text{m}$)，常用单位为($\Omega\cdot\text{cm}$)。

3.2

霍尔电场 hall electric field

在石墨烯薄膜上同时加上互相垂直的电场和磁场时，试样中的电子在与外加电场和磁场都垂直的方向上偏转而建立的电场。

3.3

霍尔系数 hall coefficient

霍尔电场对电流密度和磁通密度之积的比，单位为(cm^3/C)。

3.4

电子浓度 electron concentration

单位体积电子的数量，单位为(cm^{-3})。

3.5

电子迁移率 electron mobility

霍尔系数的绝对值与电阻率之比，单位为（ $\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ ）。

3.6

欧姆接触 ohmic contact

金属与石墨烯薄膜形成欧姆接触是指在接触处是一个纯电阻，该电阻越小越好，使得组件操作时，大部分的电压降在活动区而不在接触面。

4 原理

4.1 霍尔系数

当霍尔效应处于稳恒状态时，石墨烯薄膜中的电子在磁场作用下的洛伦兹力和在霍尔电场下的电场力达到平衡，霍尔系数与霍尔电压、样品厚度、电流强度以及磁感应强度的关系如下。

$$R_H = \frac{V_H d}{I_S B} \times 10^8 \dots\dots\dots (1)$$

式中：

R_H ——霍尔系数， cm^3/C ；

V_H ——霍尔电压，V；

d ——样品厚度，cm；

I_S ——电流强度，A；

B ——磁感应强度，T。

4.2 电子浓度

石墨烯薄膜的电子浓度与霍尔系数、样品厚度以及电子电量之间的关系为：

$$n = \frac{1}{|R_H| e} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

n ——电子浓度， cm^{-3} ；

R_H ——霍尔系数， cm^3/C ；

e ——电子电量，C。

4.3 电阻率

石墨烯薄膜电阻率 ρ 采用范德堡法进行测量，当样品为正方形时，电阻率 ρ 与样品厚度、两电极通电流时另外两电极间测得的电阻值存在如下关系：

$$\rho = 4.5323dR \dots\dots\dots (3)$$

式中：

ρ ——电阻率， $\Omega\cdot\text{cm}$ ；

d ——样品厚度，cm；

R ——两电极通电流，测另外两电极间电压后计算所得的电阻值， Ω 。

4.4 电子迁移率

石墨烯薄膜的电子迁移率 μ_H 与霍尔系数之间存在如下关系：

$$\mu_H = \frac{|R_H|}{\rho} \dots\dots\dots (4)$$

式中：

μ_H ——电子迁移率， $\text{cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ；

R_H ——霍尔系数， cm^3/C ；

ρ ——电阻率， $\Omega \cdot \text{cm}$ 。

5 试验设备与仪器

5.1 游标卡尺

最小刻度0.01 mm。

5.2 真空干燥箱

控制温度为室温~200 °C，控温精度不低于 ± 2 °C，真空度 < 133 Pa。

5.3 数字万用表

电阻档精度不低于 $\pm (1.2\% + 2)$ 。

5.4 霍尔效应测定仪

霍尔效应测定仪应能满足以下条件：

5.4.1 能够提供不低于 1 T 的磁场，磁场不均匀性 $\leq \pm 1\%$ 。

5.4.2 配备变温系统：低温区可以至 80 K，高温区不低于 700 K，温控精度优于 0.1 K。

5.4.3 电子浓度测试范围： $10^7 \text{ cm}^{-3} \sim 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ ；电子迁移率测试范围： $1 \text{ cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} \sim 2 \times 10^9 \text{ cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ；电阻率测试范围： $10^{-6} \Omega \cdot \text{cm} \sim 10^7 \Omega \cdot \text{cm}$ 。

5.4.4 设备软件具有欧姆接触测试功能，可自动测定霍尔系数、电子浓度、电阻率、电子迁移率等参数。

6 实验步骤

6.1 样品预处理

6.1.1 石墨烯生产单位提供石墨烯薄膜厚度，或者使用原子力显微镜等仪器测定石墨烯薄膜的厚度。

6.1.2 无衬底薄膜样品需转移至具有 SiO_2 绝缘层的正方形硅片上，有衬底的薄膜样品需加工成正方形。正方形的边长为 $10 \text{ mm} \pm 0.5 \text{ mm}$ 。

6.1.3 将四根漆包铜丝分别去掉两端包漆，用作测试引线，将其一端用导电银浆对称粘附在样品的四个角或边。

6.1.4 将处理后的样品在真空干燥箱中 105 °C 下干燥 30 分钟，取出后于干燥器中冷却至室温待用。

6.1.5 使用数字万用表的电阻档分别测试样品两对侧电极，若多个电阻档的电阻值均保持一致，则为欧姆接触，若未形成欧姆接触需要拿新样品重新焊接。

6.2 试验准备

6.2.1 将四根铜引线的另外一端焊接至试样架上，具体接线按照仪器使用说明进行。

6.2.2 将样品区域放在电磁铁中心区域，使磁场垂直于样品主表面。

6.2.3 试样架接上高低温真空腔的外腔体，利用真空泵接口连接真空泵和高低温真空腔，并抽真空，待腔体内部接近真空后再断开真空泵连接，并拧紧真空阀，保证腔体真空度。

6.3 样品测试

6.3.1 输入控制电流、磁场大小和样品厚度三个基本参数；控制电流通过欧姆接触测试获得：输入起始电流 0.01 mA 和截止电流 0.5 mA ~1 mA，得到电流电压关系曲线，则曲线线性区间的任一电流均可作为控制电流；磁场大小选择 500 mT；样品厚度按照 6.1.1 结果输入。

6.3.2 根据仪器操作说明，分别测定霍尔系数、电子浓度、电阻率、电子迁移率等参数。

6.3.3 按照 6.3.2 步骤再测定两次，记录并保存所测定的数据。

7 试验结果

分别取霍尔系数、电子浓度、电阻率、电子迁移率三次测试结果的算数平均值作为最终结果，数值按照GB/T 8170-2008进行修约。

8 精密度

8.1 重复性

由同一操作者在同一实验室及短间隔内对试样进行试验，在95%的置信度下，试验结果之间的差异不超过其平均值的10%。

8.2 再现性

由不同的操作者在不同实验室内对同一试样进行试验，在95%的置信度下，试验结果之间的差异不超过其平均值的10%。

9 试验报告

试验报告应包括以下内容：

- a) 本标准编号；
- b) 试样代号和标志；
- c) 送样单位和人员；
- d) 使用仪器型号及试验条件；
- e) 测试温度、控制电流、磁场大小和样品厚度；
- f) 试验结果；
- g) 试验人员。